



УДК 536.4; 66.045.12

**К ВОПРОСУ О КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМЫ  
ОХЛАЖДЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА ДЛЯ ПГУ С ВГЦ****THE QUESTION OF THE CONCEPT OF COOLING  
SYNTHESIS GAS FOR IGCC**

**Марчкова Юлия Александровна**, студент каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: yuliamarchkova@mail.ru. Тел.: +7(900)2156821

**Микула Владимир Анатольевич**, доцент каф. «Тепловые электрические станции», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: mikoula@yandex.ru. Тел.: +7(912)6648789.

**Yuliya A. Marchkova**, student, Department «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: abc@def.com. Ph.: +7(999)123-45-67

**Vladimir A. Mikula**, D.E., professor., Department «Thermal power plants», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: mikoula@yandex.ru. Тел.: +7(912)6648789.

**Аннотация:** Были рассмотрены основные концепции охлаждения синтез-газа. Наиболее подробно разобрана концепция конвективного газоохладителя синтез-газа. Проведено моделирование и верификация элемента конвективного газоохладителя в пакете CFD. Рассчитан коэффициент теплоотдачи со стороны синтез-газа.

**Abstract:** Discussed the main concept of cooling the synthesis gas. The most discussed in detail the concept of convective gas cooler synthesis gas. The simulation and verification of the convective element of the gas cooler in the CFD package. The calculated heat transfer coefficient from the synthesis gas..

**Ключевые слова:** ПГУ-ВГЦ; Конвективный газоохладитель; Радиационный газоохладитель; газоохладитель со спиральными нагревательными поверхностями. Gas cooler with spiral heating surfaces

**Key words:** IGCC; Convection gas cooler; Radiation gas cooler; Gas cooler with spiral heating surfaces.

**ВВЕДЕНИЕ**

Модернизация угольной генерации на основе современных технологий – одна из важнейших задач российской энергетики. Перспективным путём производства энергии на базе угля представляется развитие парогазовых установок на основе внутрицикловой газификации твёрдого топлива (ПГУ-ВГЦ). [1]

Поскольку потребление угля для выработки электроэнергии будет возрастать во всем мире, требуется высокоэффективное и экономичное использование угля. Для повышения эффективности ПГУ-ВГЦ, необходимо использование физической теплоты синтез-газа после газогенератора.

Для использования физической теплоты синтез-газа применяют газоохладитель (ГО) – это теплообменник, в котором горячий синтез-газ отдает свою теплоту воде и пару. На сегодняшний день в российской энергетике ПГУ с ВГЦ не эксплуатируются. В связи с этим нет достаточного опыта конструирования и расчета подобного рода теплообменников. Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что выбор принципиальной конструкции ГО и методы его расчета являются актуальными задачами.

**КОНЦЕПЦИИ ОХЛАЖДЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА**

По мнению авторов [2], существуют пять наиболее интересных и перспективных концепций охлаждения синтез-газа.

Концепция 1 заключается во введении двухступенчатого охлаждения. Радиационный теплообменник первой ступени охлаждает синтез-газ с  $1650^{\circ}\text{C}$  до  $800^{\circ}\text{C}$ . Окончательное охлаждение до  $220^{\circ}\text{C}$  осуществляется с помощью впрысков воды. Радиационный теплообменник находится между реактором газификатора и промежуточной камерой.

В концепции 2 рассматривается частичное охлаждение синтез-газа впрысками воды непосредственно на выходе из газификатора, за счет чего газ охлаждается до  $800^{\circ}\text{C}$ . Затем газ подается в боковой конвективный теплообменник с последующей сухой очисткой газа ( $800\text{--}500^{\circ}\text{C}$ ), которая оснащена горячими газовыми фильтрами.

Концепция 3 - это сочетание радиационного и конвективного теплообмена. В этом случае синтез-газ не охлаждается впрысками, а охлаждение происходит только в радиационном и конвективном теплообменниках. После охлаждения газ очищается горячими газовыми фильтрами.

Концепция 4 сопоставима с концепцией 1. В ней рассматривается радиационный теплообменник (охлаждение с  $1650^{\circ}\text{C}$  до  $800^{\circ}\text{C}$ ) и частичное охлаждение газа впрысками воды до  $500^{\circ}\text{C}$ . Далее газ направляется в систему сухой очистки газов при помощи горячих газовых фильтров.

Последняя концепция 5 основана на частичном охлаждении впрысками воды ( $1650\text{--}800^{\circ}\text{C}$ ) и боковом конвективном теплообменнике ( $800\text{--}500^{\circ}\text{C}$ ).

## КОНСТРУКЦИИ КОНВЕКТИВНОГО ГАЗАОХЛАДИТЕЛЯ

По нашему мнению, конвективный ГО является наиболее перспективным. Существует несколько конструкций конвективного ГО:

### 1) Газотрубная конструкция.

ГО состоит из теплообменных элементов представляющих собой ряд двойных труб (труба в трубе), которые привариваются к овальному сборному каналу с обоих концов, чтобы сформировать регистр ряда двойных труб. Горячий синтез-газ протекает по внутренним трубам и отдает теплоту воде и пару, протекающим через овальные сборные каналы и раздается по кольцевым пространствам между внутренней и наружной трубами. [3]

Недостатком такой конструкции является забивание проходных сечений синтез-газа золошлаковыми частицами.

### 2) Водотрубная конструкция с прямыми трубами.

Теплообменными элементами являются прямые двойные трубы (труба в трубе). Сверху наружная труба закреплена на нижней трубной доске, а нижний торец заглушен. Внутренняя труба сверху прикреплена к верхней трубной доске, а нижний конец трубы открыт. Пар проходит вниз, затем поступает во внутреннюю трубу, проходит по ней и собирается в паросборной камере. Синтез-газ снаружи омывает пакет трубных теплообменных элементов. Зигзагообразное движение внутри корпуса ГО организуется за счет перегородок. Благодаря перегородкам организуется поперечное омывание труб и сбор жидких фракций, конденсирующихся из синтез-газа. [3]

Недостатком такой конструкции является то, что трубная доска рассчитана на применение в области давления не более 10 бар.

### 3) Водотрубная конструкция ГО со спиральными трубами.

Теплообменные элементы представляют собой вертикальные спиральные трубы, по которым течет пар и вода. Теплообменник набирается из вертикальных спиралевидных элементов разного диаметра, расположенных один внутри другого. Синтез-газ течет по кольцевым каналам, образованным в радиальном направлении между спиралями.

Данная конструкция может использоваться для давлений более 10 бар.

По мнению авторов [4] наиболее перспективной является конструкция ГО, изображенная на рис. 1.



Рис. 1. Конструкция теплообменных элементов ГО

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГО

Для моделирования конструкции ГО авторы выбрали пакет CFD. В целях упрощения расчет ведется не в кольцевом, а в плоском зазоре (Рис. 2).

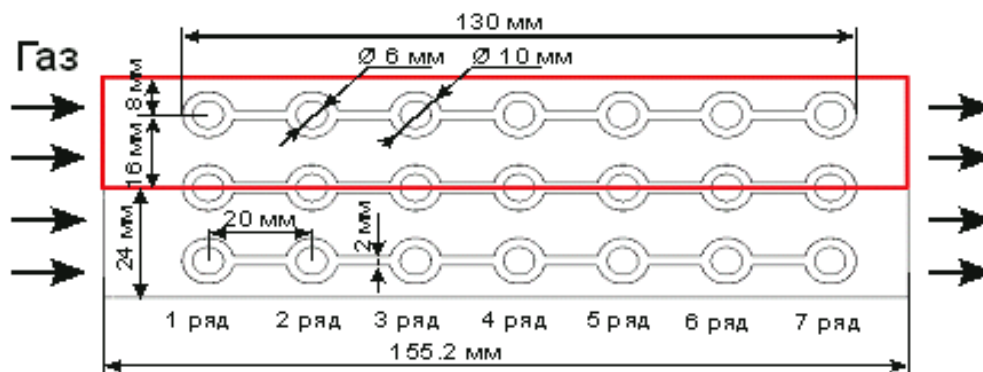


Рис. 2. Модель теплообменного элемента в пакете CFD

Для расчета в пакете CFD используется модель SST, которая состоит из 3 объектов: паровая среда, металлический цилиндр, синтез-газ. Сетка состоит из 4571224 ячеек. Результаты расчетов представлены на рис. 3 и внесены в таблицу 1.

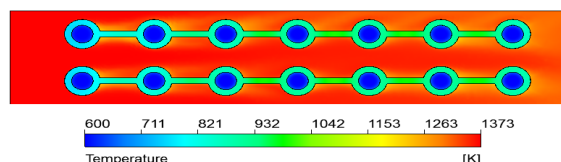


Рис. 3. Температурное поле расчетной модели

Таблица 1 - Результаты проведенных расчетов в пакете CFD

Параметры	Размерность	Величина
Температура синтез-газа на входе	К	1373
Температура синтез-газа на выходе	К	1315
Температура пара на входе	К	601
Средняя температура пара на выходе	К	631
Количество тепла	Вт	21244

По результатам моделирования рассчитан коэффициент теплоотдачи со стороны синтез-газа

984 Вт/(м<sup>2</sup>\*К), который сходится с экспериментальными данными полученными в [4].

Полученные результаты далее планируется использовать для расчетов конвективного газоохладителя ПГУ-ВГЦ мощностью 500МВт.

Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00524).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гибридные ПГУ на твердом топливе / Т.Ф. Богатова, А.Ф. Рыжков, Н.В. Вальцев, П.В. Осипов, С.И. Гордеев // Энергетик. 2014. №12. С. 12-16.
2. Development and engineering of a synthetic gas cooler concept integrated in a Siemens gasifier design K. Uebel, U. Guenther, F. Hannemann, U. Schiffers, H. Yilmaz, B. Meyer. K. Uebel et al. / Fuel 116 (2014) 879–888
3. Cooler Systems for Gasification Plants 07/2015, SCHMIDTSCHE SCHACK
4. Convective heat transfer characteristics of high-pressure gas in heat exchanger with membrane helical coils and membrane serpentine tubes / Zhen Yang, Zhenxing Zhao, Yinhe Liu, Yongqiang Chang, Zidong Cao. Experimental Thermal and Fluid Science 35 (2011) 1427–1434